



Revista EIA, ISSN 1794-1237 /  
e-ISSN 2463-0950  
Año XVII/ Volumen 17/ Edición N.34  
Julio-Diciembre de 2020  
Reia34002 pág 1-7

Publicación científica semestral  
Universidad EIA, Envigado, Colombia

**PARA CITAR ESTE ARTÍCULO /  
TO REFERENCE THIS ARTICLE /**

Rojas-Usuga, J.; Navarro-Restrepo, J.;  
Martínez-Ciro, R.; Betancur-Pérez, A.;  
López-Giraldo, F. (2020). Medical  
Caracterización de un convertor  
de luz a frecuencia TSL235R-LF,  
para su aplicación en un sistema  
de comunicación por luz visible.  
Revista EIA, 17(34), Julio-Diciembre,  
Reia34002. [https://doi.org/10.24050/  
reia.v17i34.1139](https://doi.org/10.24050/reia.v17i34.1139)

✉ *Autor de correspondencia:*

Navarro-Restrepo, J. (Juan):  
Calle 54A No 30-01, Medellín,  
Antioquia. Teléfono: 460  
07 27. Correo electrónico:  
Navarrojuan212@gmail.com

**Recibido:** 24-07-2017  
**Aceptado:** 18-06-2020  
**Disponible online:** 03-08-2020

# Caracterización de un convertor de luz a frecuencia TSL235R-LF, para su aplicación en un sistema de comunicación por luz visible

JUAN ROJAS-USUGA<sup>1</sup>

✉ JUAN NAVARRO-RESTREPO<sup>1</sup>

ROGER MARTÍNEZ-CIRO<sup>1</sup>

ANDRÉS BETANCUR-PÉREZ<sup>1</sup>

FRANCISCO LÓPEZ-GIRALDO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones, Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia

## Resumen

Los sistemas VLC (Visible Light Communication), emplean como transmisores LEDs (Light Emitting Diodes) y como receptores, fotodetectores. Esto es debido a su alta velocidad de repuesta y sirven para comunicaciones ópticas no guiadas. Existen diferentes tipos de fotodetectores, los más conocidos son los fotodiodos de juntura tipo PN, PIN y APD.

En este trabajo se presenta la caracterización de un sensor LTF (Light To Frequency) TSL235R-LF el cual consta de un fotodiodo tipo PIN y un convertidor de corriente a frecuencia. Este dispositivo genera una señal cuadrada de amplitud constante, ciclo de dureza del 50% y la frecuencia resultante es una función de la potencia óptica incidente. En nuestro experimento se usaron como fuente, emisores LED RGB y se pudo observar que la frecuencia generada por el sensor aumenta o disminuye linealmente dependiendo de la potencia óptica incidente. Se notó que, para iguales potencias ópticas detectadas, a diferentes longitudes de onda (rojo, verde y azul), la frecuencia de salida del sensor LTF es diferente, lo que resulta de gran interés para la distinción de símbolos en el formato de modulación CSK en sistemas VLC.

**Palabras clave:** VLC; Sensor LTF; LEDs RGB; Medidor de potencia óptica; Osciloscopio.

# Characterization Of A Light To Frequency Converter Tsl235r-Lf, For Its Application In A Visible Light Communication System

## Abstract

VLC systems (Visible Light Communication), use LEDs (Light Emitting Diodes) as transmitters and photodetectors as receivers. This is because its high speed of response and they are useful for wireless optical communications. There are different kind of photodetectors, the most common are the PN, PIN and APD photodiodes. In this dissertation we present the characterization of an LTF (Light to Frequency) TSL235R-LF Sensor which consists of a PIN type photodiode, and a current to frequency converter. This device generate a square signal with constant amplitude, 50 % duty cycle and its frequency is a function of the incident optical power. In our experiment, we use as a light source an RGB LED for transmitting and we notice that the generated frequency by the LTF increases or decreases linearly, depending on the incident optical power. We noticed that, for the same optical powers detected, with a different wavelength (red, green and blue), the output frequency of the LTF sensor is different. This fact is of great interest in order to distinguish symbols in CSK modulation formats on VLC systems.

**Keywords:** LTF Sensor; RGB LEDs; Optical Power Meter; Oscilloscopes.

---

## 1. Introducción

La comunicación por luz visible (Visible Light Communication – VLC) es una tecnología de corto alcance que está en constante investigación. Como su nombre lo indica, esta forma de comunicación ocurre en el espectro visible (400nm-700nm) Una de las ventajas de los sistemas VLC es que la potencia transmitida no necesita ser restringida como es el caso de las comunicaciones RF; que por muy buenas que sean para transmitir información a grandes distancias, por su forma de propagación, no pueden ser utilizadas en todos los lugares existentes por interferencias con equipos y posibles afectaciones en el tejido humano según algunos estudios (Barners & Greenebaum, 2016).

Los sistemas VLC han generado más expectativa con la evolución de los diodos emisores de luz (Light Emitting Diodes – LEDs), los cuales son reconocidos por su eficiencia, bajo consumo de energía, estabilidad, forma compacta y vida útil (Jin et al., 2016).

En VLC se emplean como transmisores LEDs y como receptores los fotodetectores, esto se debe a que son buenos por su alta velocidad y sirven para comunicaciones ópticas no guiadas.

El convertidor de luz a frecuencia TSL235R-LF del fabricante TAOS, es un dispositivo que genera una señal cuadrada de amplitud constante y una frecuencia en función de la potencia óptica incidente. Este dispositivo presenta buenas características para ser usado en el diseño de receptores de sistemas ópticos. (Wanser, Mahrley, & Tanner, 2012). También es usado como receptor en la vigilancia de luz para plantar flores (Kuo, Chiang, & Huang, 2008).

En este trabajo, se propone encontrar las características más importantes del dispositivo TSL235R-LF, que permitan proyectar el beneficio en el diseño de receptores de sistemas VLC, orientado a la detección de símbolos generados por la modulación del color. Para el cual se plantea diseñar un montaje experimental que permita obtener los parámetros más importantes del LTF y así poder caracterizar el TSL235R-LF mediante la relación entre la variación de la potencia lumínica de fuentes triestímulo y la frecuencia generada por el sensor.

## 2. Sistemas VLC

Las comunicaciones inalámbricas han cambiado positivamente la manera de comunicarnos y por ende nuestra manera de vivir. Una de las formas más conocidas de comunicaciones inalámbricas son las radiofrecuencias (RF), que por la manera de propagación han sido muy utilizadas, pero estas tienen algunas falencias tales como su capacidad, que en algunos casos se ve limitada y congestionada, son costosas, la disponibilidad no es del 100%, por cuestiones de seguridad y salud no pueden ser usadas en hospitales, plantas petroquímicas, aviones, etc. Según *Harald Haas*, la mayoría de energía usada en las antenas celulares, es para enfriar las estaciones y solo el 5% de esta es utilizada para radiar la señal, en otras palabras, este sistema es muy ineficiente. Aparte de lo mencionado, las señales RF pueden penetrar muros, esto implica que pueden ser intervenidas por personas no deseadas.

En este punto es donde sacan provecho los sistemas VLC debido a que pueden ser usados en sitios donde las RF no pueden.

Los sistemas VLC utilizan como emisores LEDs y como receptores, fotodetectores; ya que estos tienen alta eficiencia cuántica, son pequeños, rápidos y responden muy lineal respecto a la potencia óptica incidente.

Estos dispositivos reaccionan en diferentes longitudes de onda, dependiendo de la estructura y el material del cual estén compuestos. La gran mayoría de estos, están basados en materiales semiconductores.

Estos dispositivos convierten la luz incidente en señales eléctricas (Voltaje o corriente) o en variaciones de resistencia.

Un conversor de luz a frecuencia (Light To frequency – LTF), es un dispositivo que se compone de dos partes: La primera es un receptor (fotodiodo) y la segunda es un convertidor de corriente a frecuencia. El TSL235R-LF es un convertidor de alta resolución entre la intensidad de la luz y la frecuencia sin componentes externos. Este sensor genera una frecuencia, que según el fabricante (TAOS), está relacionada en la siguiente **Ecuación (1)**:

$$F_o = F_d + R_e * E_e \quad (1)$$

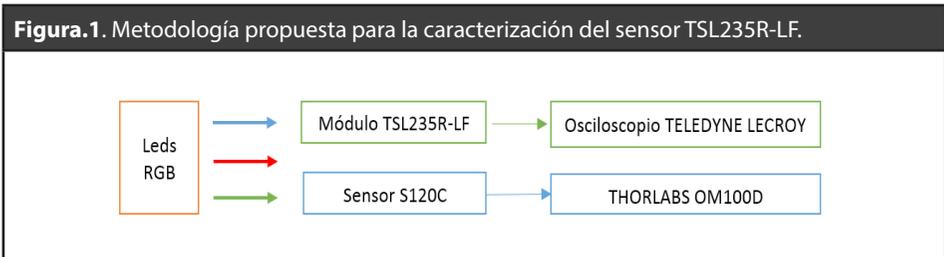
Donde  $F_d$  es llamada “Frecuencia de oscuridad”, esta frecuencia es generada por el dispositivo mientras  $E_e = 0$ , es decir; cuando el transmisor se encuentre apagado.  $R_e$  es la responsividad del dispositivo y  $E_e$  es la irradiancia de la fuente transmisora; la cual es una relación entre potencia óptica incidente y el área efectiva del fotodetector (Ghassemlooy et al.,2017), esta es expresada en la siguiente **Ecuación (2)**:

$$E_e = \frac{P_{in}}{A_e} \quad (2)$$

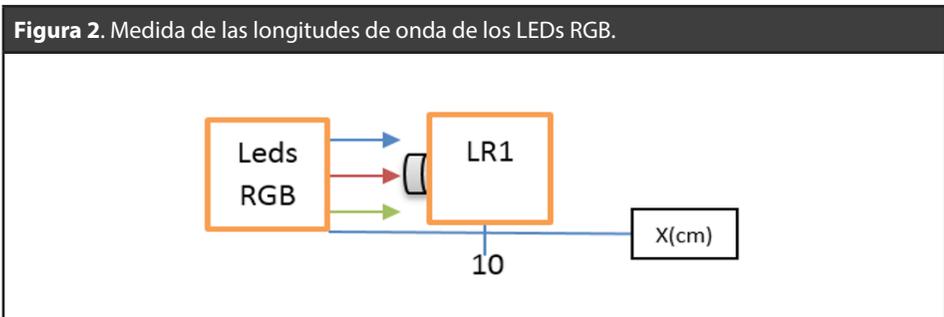
Donde  $P_{in}$  es la potencia óptica incidente y  $A_e$  es el área efectiva del sensor; que en nuestro caso es de 0,92mm<sup>2</sup>.

### 3. Metodología

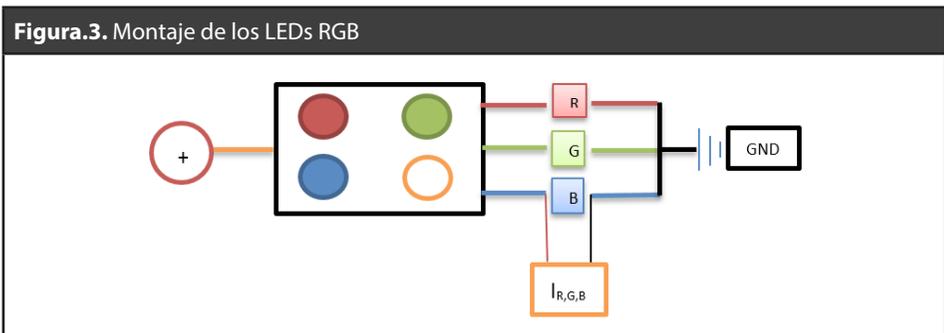
La caracterización del sensor TSL235R-LF fue planteada mediante un montaje experimental, el cual consta de los siguientes elementos: LEDs RGB como fuentes lumínicas que estimularán el sensor LTF, THORLABS PM100D acoplado al sensor óptico S120C; el cual se utilizó para tomar muestras de potencia óptica en algunas distancias determinadas. Para la lectura de frecuencia del sensor propuesto; se consideró el Osciloscopio TELEDYNE LECROY waveAce2032. Esta metodología es ilustrada en la **Figura 1**.



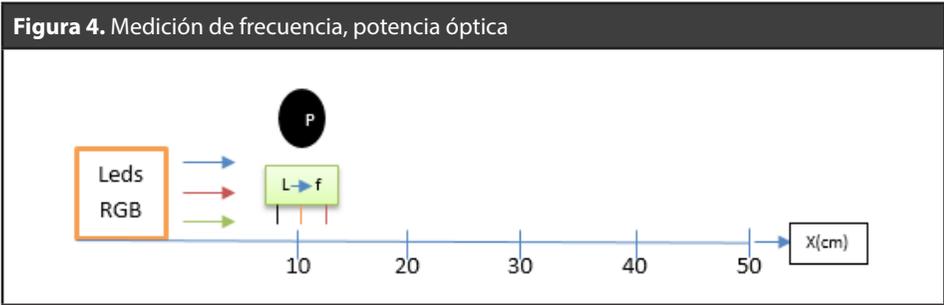
Para caracterizar el dispositivo, es necesario conocer la longitud de onda de los LEDs RGB, para el cual se utilizó el instrumento LR1 ya calibrado, que mide longitudes de onda; desde los 200nm hasta los 1100nm; como se muestra en la **Figura 2**.



El montaje de los LEDs RGB se muestra en la **Figura 3**. El cual consta de dos grupos, que están conectados en paralelo, cada grupo con dos LEDs RGB, estos son de ánodo común. Con una resistencia de  $1k\Omega$  conectada en serie a cada grupo, el montaje tiene tres posibilidades de tierra, cada una decide el color en el que iluminarán los LEDs.

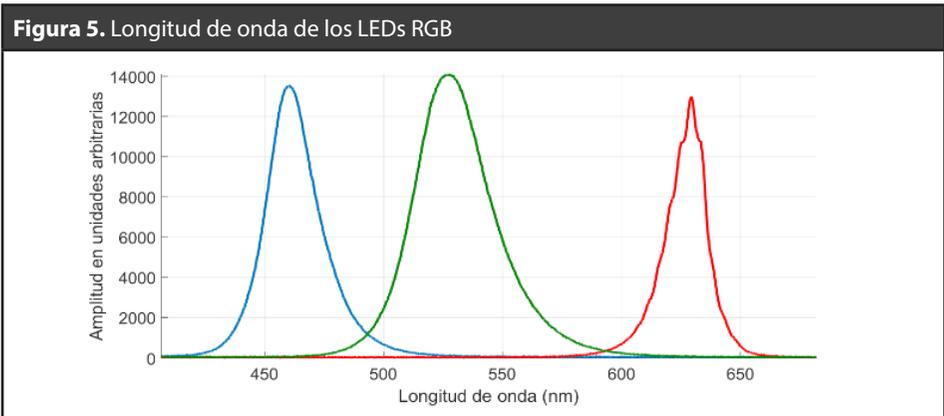


Los LEDs fueron alimentados con una fuente de 12V y corriente de 40mA, se ubicó el dispositivo S120C y el TSL235R-LF a 10cm de los mismos; para medir la potencia óptica y la frecuencia respectivamente. Luego de la medición en cada color, se movían los sensores +10cm y se tomaban los datos en esta nueva posición; se repitió este procedimiento hasta llegar a 100cm como es ilustrado en la **Figura. 4**. El medidor de potencia se ubicó a la misma altura en la que se encontraban los LEDs.

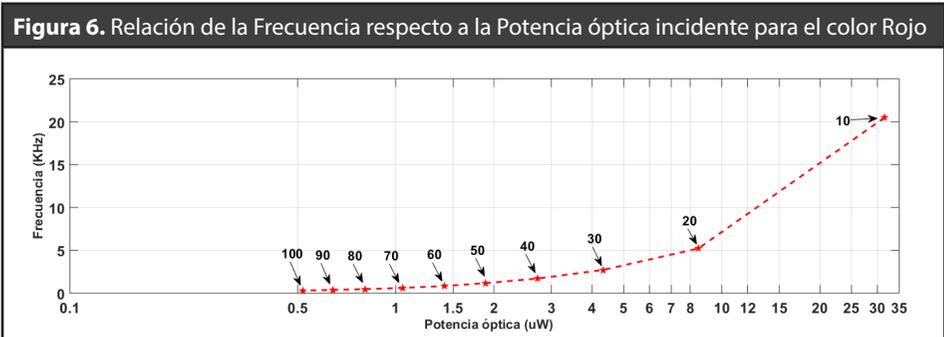


#### 4. Resultados

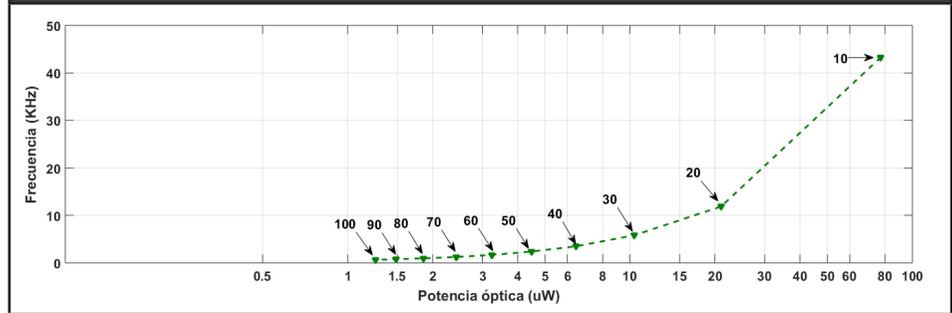
El objetivo de este trabajo es hacer la caracterización del convertidor de luz a frecuencia TSL235R-LF, para esto se hicieron las mediciones de las longitudes de onda de los LEDs Rojo, Verde y Azul; se notó que los picos de emisión de estos, se encontraban en 623nm, 519nm y 453nm respectivamente como se muestra en la **Figura 5**.



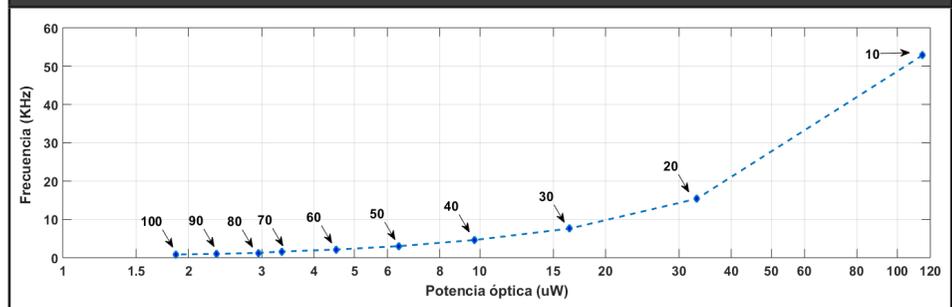
Después de conocer la longitud de onda de los LEDs, se hicieron mediciones de la respuesta en frecuencia del sensor LTF y potencia óptica. A continuación, como se muestra en las **Figura 6** (Rojo), **Figura 7** (Verde) y **Figura 8** (Azul), se pueden observar los datos obtenidos en el laboratorio, para cada color del montaje de LEDs RGB, en los cuales se relacionan los datos de la frecuencia (KHz) respecto a la potencia óptica incidente ( $\mu\text{W}$ ). En dichas figuras se encuentran los símbolos  $\star$ ,  $\blacktriangle$ ,  $\blacklozenge$  los cuales indican la distancia a la cual se encontraba ubicado el sensor LTF y el sensor de potencia. Los resultados de estas gráficas mostraban un comportamiento lineal, pero para ver con más detalle lo que ocurría; se cambió a escala logarítmica el eje de potencia óptica.



**Figura 7.** Relación de la Frecuencia respecto a la Potencia óptica incidente para el color Verde.



**Figura 8.** Relación de la Frecuencia respecto a la Potencia óptica incidente para el color Azul.



En la **Figura 6** se puede observar que la mayor frecuencia para el color rojo es de 20,47 KHz y se presenta a una distancia de 10cm con potencia óptica incidente de 31,54  $\mu$ W.

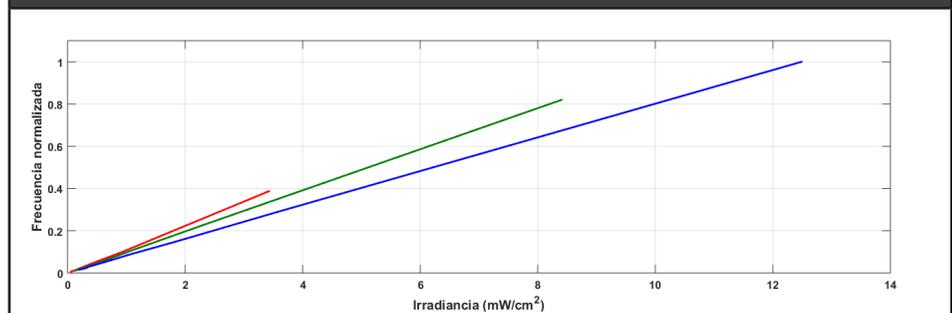
En la **Figura 7** se puede observar que la mayor frecuencia para el color verde es de 43,29 KHz y se presenta a una distancia de 10cm con potencia óptica incidente de 77,31  $\mu$ W.

En la **Figura 8** se puede observar que la mayor frecuencia para el color azul es de 52,82 KHz y se presenta a una distancia de 10cm con potencia óptica incidente de 114,9  $\mu$ W.

De las figuras anteriores se puede notar la dependencia de la frecuencia respecto a la potencia óptica incidente, también se puede observar que a menor distancia se genera una mayor frecuencia para todos los colores.

El color que generó más frecuencia fue el azul y el de menor fue el color rojo.

**Figura 9.** Relación de la Frecuencia respecto a la irradiancia para los colores Rojo, Verde y Azul



## 5. Conclusiones

Para evaluar la responsividad del LTF, se utilizaron los datos de irradiancia y frecuencia (ver **Figura 9**) de la **Ecuación 1**. Los valores de irradiancia de cada color, se obtuvieron mediante la **Ecuación 2**. Se notar que la frecuencia generada por el sensor es directamente proporcional a la irradiancia, por esto se ve que el color azul generó mayor frecuencia que los demás colores. Las pendientes que se aprecian en la **Figura 9**, indican la responsividad del dispositivo frente a cada color. Se puede notar que esta, es mayor para el color rojo; lo que dice esto, es que; para iguales valores de irradiancia de cada color, el sensor LTF genera mayor frecuencia para el color rojo que para el verde y el azul.

Para comunicaciones ópticas de corto alcance como es nuestro caso, el sensor propuesto ofrece muchos beneficios a este tipo de sistemas; ya que es pequeño, no es costoso, es fácil de implementar y además tiene una cualidad importante de generar respuestas en frecuencia con bajas potencias ópticas.

A la hora de trabajar con sistemas de comunicación por luz visible utilizando la modulación por color CSK (Color Shift Keying), es necesario tener en cuenta el tipo de receptor que se utilizará. En la caracterización de este sensor, se notó que a iguales potencias ópticas en distintos colores se obtuvieron datos de frecuencia diferentes, esto implica que a al momento de transmitir datos, el sensor estará en la capacidad de reconocer la información en cualquier combinación RGB dentro del rango posible. Lo que hace que este dispositivo sea de mayor interés para su uso en sistemas VLC.

## Referencias

- Agrawal, G. P. (2002). *Fiber-Optic Communications Systems*, Third Edition. Communications (Vol. 6). <https://doi.org/10.1002/9780470611388>
- AMS. (2016). TSL238, 1–22. <http://ams.com/eng/Products/Light-Sensors/Light-to-Frequency/TSL238>
- Barners, F., & Greenebaum, B. (2016). Some Effects of Weak Magnetic Fields on Biological Systems: RF fields can change radical concentrations and cancer cell growth rates. *Iee Power Electronics Magazine*, 67(1), 60–68. <https://doi.org/10.1109/MPEL.2015.2508699>
- Fletcher, S., & Telecom, N. E. C. (2014). Cellular Architecture and Key Technologies for 5G Wireless Communication Networks, (February), 122–130.
- George, J. J., Mustafa, M. H., Osman, N. M., Ahmed, N. H., & Hamed, M. (2014). A Survey on Visible Light Communication, 3(2), 3905–3908.
- Ghassemlooy Z., Alves L., Zvanovec S., Khalighi M. (2017). *Visible Light Communications: Theory and Applications*.
- Haas H, "Wireless Data from Every Light Bulb," TED website, Aug. 2011; <http://bit.ly/tedvlc>.
- Jin, Y., Fu, Y., Hu, Y., Chen, L., Wu, H., Ju, G., ... Wang, T. (2016). A high color purity deep red emitting phosphor SrGe4O9: Mn4+ for warm white LEDs. *Powder Technology*, 292, 74–79. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.01.017>
- Kuo, W., Chiang, C., & Huang, Y. (2008). An Automatic Light Monitoring System with Light-to-Frequency Converter for Flower Planting, 0–3.
- Wanser, K. H., Mahrley, S., & Tanner, J. (2012). High accuracy optical inverse square law experiment using inexpensive light to frequency converters.